

Title	Decay Property of a Low-lying Isomer of Thorium-229
Author(s)	笠松, 良崇
Citation	
Issue Date	
oa:version	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46510
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について ご参照 ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名 笠 松 良 崇

博士の専攻分野の名称 博 士 (理 学)

学 位 記 番 号 第 20025 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 18 年 3 月 24 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第4条第1項該当

理学研究科化学専攻

学 位 論 文 名 Decay Property of a Low-lying Isomer of Thorium-229
(低エネルギー核異性体 ^{229m}Th の壊変特性)

論 文 審 査 委 員 (主査)

教 授 篠 原 厚

(副査)

教 授 山 口 兆 教 授 斎 藤 直
東北大学助教授 三 頭 聡 明

論 文 内 容 の 要 旨

原子核の壊変過程の内、原子核と軌道殻電子が相互作用を起こすものとして、軌道電子捕獲や内部転換といったものがこれまでに知られている。申請者は新たに提案されている電子架橋過程という過程の実験的に観測を目的として実験を行った。 Th-229m という励起核は、その励起エネルギーが極端に低く、3.5 eV と報告されており、内部転換が禁止され、通常では確率が小さすぎて観測しにくかった電子架橋を観測するのに絶好の題材である。また、この電子架橋過程には、最外殻価電子しか関与できないため、化学状態の違いによって、原子核の壊変が作用されるといった新しい現象が期待される。申請者は、光子測定と α 線測定を通してこの励起核の壊変を直接観測し、最終的には電子架橋過程を含めて ^{229m}Th の壊変特性を解明することを目的としている。

光子測定実験

他国研究グループによる光子測定の試みとその失敗から、申請者は、 ^{233}U から $^{229\text{g,m}}\text{Th}$ を化学的に分離して光子測定を行った。 $^{229\text{m}}\text{Th}$ の半減期が短い可能性も考慮して、迅速イオン交換装置を開発して実験に用いた。

測定に関しては、第一に $^{229\text{m}}\text{Th}$ からの脱励起光を観測することを目的とし、効率を重視した光子測定系を開発した。熱雑音の少ない光電子増倍管を使用し、ペルチェ素子を用いた冷却装置を取付けて単一光子検出に近い低雑音測定装置を開発した。楕円体リフレクターの焦点に $^{229\text{g,m}}\text{Th}$ 試料を置き、試料からの光をできるだけ光電面に集め、 α 線による空気の励起の影響も低減させた。

40-250 mg の ^{233}U を使用し、塩酸溶解液試料、硝酸溶液試料、水酸化物沈殿試料に対して測定した結果、 $^{229\text{m}}\text{Th}$ 起源であると考えられる光子放出を観測することができなかった。結果として、実験データを再現する $^{229\text{m}}\text{Th}$ の半減期として取りうる値の範囲を報告した。理論的な予測とあわせて考察すると、非常に半減期が短い可能性と、放出される光子のエネルギーが実験条件の範囲外 $< 2 \text{ eV}$ or $> 6 \text{ eV}$ である可能性が示された。

α 線測定実験

$^{229\text{m}}\text{Th}$ は $10^{-6} \sim 10^{-7}$ の分岐比で $^{229\text{g}}\text{Th}$ と区別できる α 線を放出するので、それを観測することは確実な核現象の証明になる。これまで、(1) $^{230}\text{Th}(\gamma, n)^{229\text{g}}\text{Th}$ 、(2) $^{232}\text{Th}(\gamma, p2n)^{229}\text{Ac}$ 、(3) $^{228}\text{Ra}(n, \gamma)^{229}\text{Ra}$ 、(4) $^{232}\text{Th}(p, p3n)^{229\text{g}}\text{Th}$ 、(5) $^{230}\text{Th}(p, d)^{229\text{g}}\text{Th}$ の5種類の核反応を用いてそれぞれ $^{229\text{m}}\text{Th}$ やその親核種を生成し、 α 線測定と一部は光子測定

も試みてきた。また、 ^{233}U を用いた実験も光子測定と同様の方法で行った。

結果として(2)の実験において、 ^{229}Ac を分離し、そこから成長してくる ^{229}Th を再び分離することにより、非常に純粋な試料が得られ、4930 keV、5050 keV 付近にピークを観測し、再現性も確認できた。 ^{233}U を用いた実験では、実験を容易に繰り返すことができるため、(2)の実験の再現と、統計量の改善を目的として行い、その結果、スペクトルとしては、 ^{229}Th のピークが大きすぎるため観測が困難であったが、時間依存の観測において、非常に短い時間で減衰していることを確認し、その結果から半減期として3時間以下である、といった結果を得ることができた。

これら2種類の実験の結果から総合的に考察し、光子が観測されなかった原因は、極端に半減期が短いことではなく、光子エネルギーが測定範囲外であるといったことが推測できた。理論的解釈から判断し、これら3種類の化学状態においては、 ^{229}Th の壊変過程として電子架橋過程が支配的であり、そのエネルギーが2 eV 以下であることが示された。

論文審査の結果の要旨

本研究は、原子核と軌道殻電子との相互作用として新たに提案されている電子架橋過程という過程の実験的観測を目的としたものである。 ^{229}Th という励起核は、その励起エネルギーが極端に低く、3.5 eV と報告されており、内部転換が禁止されると考えられるため、通常では確率が小さすぎて観測することが困難であった電子架橋を観測するのに絶好の実験の場である。また、この電子架橋過程には、最外殻価電子しか関与できないため、化学状態の違いによって、原子核の壊変が作用されるといった新しい現象が期待される。

実験においては、光子測定と α 線測定を通してこの励起核の壊変特性を解明するため、 ^{229}Th を生成する様々な方法を開発し、また、高効率で低ノイズの光子測定系と、高分解能の α 線測定が出来る試料の作成方法を開発した。それぞれの実験において、化学分離により ^{229}Th 試料を精製し、低バックグラウンド下で、安定な実験に成功した。 α 線測定の結果から、世界で初めての ^{229}Th の壊変を直接的に観測することに成功し、半減期として3時間以下であるといった結果を得た。対して、光子測定では、十分量の光子が観測される条件下で実験を行ったが、光子放出が観測できなかった。このことは ^{229}Th から放出される光子のエネルギーが光子測定器の感度範囲外であったことを示唆するものである。得られた結果を総合的に考察し、 ^{229}Th の壊変過程として、塩酸溶液中、硝酸溶液中、および水酸化物沈殿状態において、電子架橋過程が支配的であり、また、そのとき放出される光子のエネルギーが2 eV 以下であるという結論に至った。

このように、笠松君の「低エネルギー核異性体 ^{229}Th の壊変特性」に関する研究は、 ^{229}Th の直接壊変をはじめて観測したものであり、電子架橋過程という新しい壊変過程の実証に大きく迫る成果として位置付けられる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。